

*Матеріали III Всеукраїнської науково-технічної конференції ТЕОРЕТИЧНІ ТА ПРИКЛАДНІ  
АСПЕКТИ РАДІОТЕХНІКИ І ПРИЛАДОБУДУВАННЯ, 2017*

**УДК 620.9.001.12.18**

**Євген Гончаров, к.т.н., доц., Ігор Поляков, к.т.н., доц.,**

**Наталія Крюкова к.т.н., доц.**

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

**ТЕХНОЛОГІЇ РОЗВИТКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ**

Розглянуто тенденції розвитку сучасних технологій електроенергетичних систем і принципи роботи та конструкції високотемпературних надпровідних обмежувачів струму короткого замикання.

Ключові слова: обмежувач струму короткого замикання, високотемпературний надпровідник, індуктивність, магнітне поле, магнітопровід.

**Evgen Goncharov, Ihor Polyakov, Nataliya Kryukova**

**TECHNOLOGIES OF DEVELOPMENT OF ELECTRIC POWER SYSTEMS**

Trends of modern technology power systems and principles of operation and construction of short-circuit high-temperature superconducting current limiters are considered.

Key words: short-circuit current limiter, high temperature superconductor, ferromagnetic core.

З сучасним розвитком галузі електроенергетики, виникли передумови для побудови електроенергетики на новій технологічній основі з використанням інтелектуальних енергосистем з активно-адаптивною інтелектуальною електричною мережею «Smart Grid».

**Енергосистема «Smart Grid»:**

- використання сучасних високоінтелектуальних засобів контролю ІТ-технологій і керування джерелами енергії, інтеграція джерел поновлюваної енергії, розподілення генерації та накопичення електроенергії, з метою підвищення надійності і економічності;
- створення активно-адаптивної електричної мережі на основі моніторингу і керування режимів з використанням нових засобів та технологій («FACTS» та ін.) для забезпечення надійності передачі електроенергії та керованості електричної мережі;
- впровадження розподілених систем автоматики й захисту на сучасній мікропроцесорній основі з використанням нових ІТ-технологій;
- створення автоматизованих (цифрових) підстанцій, побудованих з використанням сучасного електротехнічного устаткування, оснащеного сучасними системами діагностики, моніторингу, релейного захисту автоматики та керування на основі ІТ-технологій;
- впровадження устаткування, створюваного з використанням нанотехнологій, високотемпературних надпровідників, нових композиційних матеріалів, високоефективних електричних накопичувачів енергії;
- істотне підвищення активності споживачів у керуванні власним електроспоживанням.

Активно-адаптивна мережа – це сукупність підключених та генеруючих джерел і споживачів «інтелектуальних» пристроїв: ліній електропередачі, перетворювачів електроенергії, комутаційних апаратів, пристроїв захисту і автоматики, сучасних інформаційно-технологічних та керуючих систем, джерел генерації, у тому числі що використовують поновлювану енергію, яка розподіляється системою моніторингу й автоматичного керування розподіленими технічними засобами.

Ця система забезпечує моніторинг інформації про поточний стан устаткування, організує адаптивну реакцію системи в режимі реального часу на різні збурювання,

забезпечуючи тим самим надійне енергопостачання споживачів, енергоефективність і стійкість функціонування електроенергетичних систем у цілому.

Силові керовані пристрої активно-адаптивних мереж відіграють вирішальну роль у реалізації цієї технології на практиці. Їх можна розділити на наступні основні групи:

- пристрої регулювання (компенсації) реактивної потужності й напруги, що підключають до мереж паралельно;
- пристрої регулювання параметрів мережі (опір мережі), що підключають у мережі послідовно;
- пристрої, що сполучають функції перших двох груп –пристрою повздошно-поперечного включення;
- пристрої обмеження струмів короткого замикання;
- накопичувачі електричної енергії;
- вставки й електропередачі постійного струму;
- лінії електропередачі постійного і змінногострумуз використанням нових композиційних матеріалів, високотемпературних надпровідників.

Перші три групи пристроїв відносять до технології «FACTS» [1, 2]. Керована система передачі змінного струму «FACTS» (Flexible Alternative Current Transmission Systems) – це силова електронна система і супутнє устаткування, призначене для керування одним або декількома параметрами лінії електропередачі з метою збільшення її надійності і пропускної здатності. При послідовному включенні устаткування «FACTS» використовується для компенсації індуктивного опору лінії електропередачі; при паралельному – здатне поліпшити коефіцієнт потужності і уникнути перенапруг для індуктивного навантаження.

Окремі типи технологій «FACTS» використовуються також у пристроях обмеження струмів короткого замикання та лініях електропередачі постійного й змінногострумуз використанням нових композиційних матеріалів і високотемпературних надпровідників (ВТНП).

**Надпровідникові технології.** Розробки з надпровідного обмежувача струму розпочалися з появою ВТНП матеріалів (1986 р.), що пов'язано з їх можливістю отримувати надпровідність при охолодженні рідким азотом (77 К).

За конструктивними особливостями можна виділити дві основні концепції надпровідного обмежувача струму: резистивну та індуктивну [3]. У резистивному струмообмежувачі надпровідник безпосередньо вмикається у електричне коло для захисту навантаження, а у індуктивному надпровідний елемент має магнітний зв'язок з електричним колом.

Струмообмежувач містить надпровідний елемент, який послідовно з'єднаний з електричним колом, що захищається. Резистивна конструкція надпровідного обмежувача струму є найбільш спрощеною і малогабаритною, заснованою на нелінійності опору надпровідника.

У нормальному режимі номінальний струм нижче критичного струму надпровідного елемента, і цей елемент знаходиться у надпровідному стані із нульовим опором. В аварійному режимі струм короткого замикання у колі зростає, надпровідний елемент втрачає надпровідність і переходить в резистивний стан та обмежує струм. Застосування послідовного резистивного струмообмежувача можливо в тих випадках, коли достатньо декількох хвилин відновлення після спрацювання. Втрати у ВТНП елементах на змінномуструмі повинні бути мінімізовані для здешевлення кріогенного забезпечення. Такий тип обмежувача струму характеризується появи теплових доменів, викликана неоднорідністю переходу надпровідника в нормальний стан.

Обмеження струму короткого замикання в надпровідному обмежувачі струму індуктивного типу досягається за рахунок різкого зростання його опору. Обмотка

замкнена на надпровідний елемент, та екранує надпровідним екраном осердя з електротехнічної сталі. Крім цього, магнітний потік у разі концентричного розташування елементів конструкції проникає в осердя магнітопроводу, що значно збільшує індуктивність. Зміна індуктивності призводить до великого зростання індуктивного опору, сталої часу, що дозволяє суттєво обмежити струм короткого замикання.

Найчастіше вторинні надпровідні обмотки виготовляються у вигляді набору циліндрів або кілець. Відрізняються конструкції індуктивних струмообмежувачів або розташуванням надпровідних кілець, або конфігурацією магнітного осердя. Можливе розміщення кілець відносно первинної обмотки усередині або ззовні. Основні складності при створенні надпровідного струмообмежувача з надпровідним екраном полягають у створенні екранів великих діаметрів.

Індуктивний тип забезпечує обмеження струму короткого замикання за рахунок різкого зростання індуктивного опору зміною ступеня насичення магнітопроводу. Недоліком індуктивного обмежувача струму є збільшення маси і габаритів пропорційно напрузі.

У IBM досліджували перспективу використання низькотемпературних надпровідників (НТНП) з матеріалу  $Nb_3Sn$  ( $T_K=18\text{ K}$ ) для створення потужних електричних кабелів [4]. Метою їхньої розробки було – передача по кабелю постійного струму потужності 100 ГВт (100 кВ, 500 кА) на відстань близько 1000 км, з криогенним охолодженням рідким гелієм по всій довжині кабелю. Такий кабель був спроможний транспортувати половину всієї електроенергії, яка вироблялась у той час у США, якби виникла потреба у такому щільному потоці електроенергії. Аналогічні проекти розглядались у Німеччині і країнах ЄС [5–7].

Технічна можливість створення НТНП кабельних ліній не є достатньою умовою для їхньої реалізації. Значні капітальні витрати на НТНП матеріали, прокладання та кріостатування кабельної лінії, яка до того ж потребувала великих експлуатаційних витрат, зробила НТНП кабельні лінії економічно не вигідними. Тому дослідні роботи зі створення ЛЕП великих потужностей, спрямовані на використання ВТНП матеріалів. У США, Японії, ЄС та інших країнах ведуться інтенсивні розробки технологій виробництва довгомірних ВТНП кабелів. Але перспектива передачі електроенергії по довгомірним ВТНП кабелям електричної енергії постійного струму є дуже енергетично привабливою.

Технологічні платформи «Smart Grid» – це пристрої регулювання напруги на базі сучасної силової електроніки, асинхронні турбогенератори і компенсатори реактивної потужності принципово нового типу, кабельні лінії на основі високотемпературної надпровідності, а також пристрої обмеження струмів короткого замикання комутаційного типу і на основі високотемпературної надпровідності. Використання технологічних платформ «Smart Grid» разом з ІТ-технологіями дозволить суттєво підвищити ефективність і енергозбереження електроенергетичних систем.

### **Література**

1. Grid 2030: A National Vision for Electricity's Second 100 Years. Office of Electric Transmission and Distribution, United State Department of Energy, July 2003. <https://www.ferc.gov/eventcalendar/files/20050608125055-grid-2030.pdf>